

Полученные результаты подтверждают теоретические выкладки и дают основу для усовершенствования процесса в дальнейших исследованиях.

**Список литература:** 1. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов / Г.Э. Аркулис - М.: Металлургия, 1964. - 215 с. 2. Головачев В.А. Высокопрочные биметаллические соединения / В.А. Головачев, Н.А. Комаров - Л.: Машиностроение, 1974. - 192 с. 3. Кобелев А.Г. Технология слоистых металлов: Учебн. пособие. / А.Г.Кобелев, И.Н. Потапов, Е.В. Кузнецов - М.: Металлургия, 1991, 248 с. 4. Колташников А.И. и др. Деформирование композиционных материалов / Б.А. Арефьев, В.Ф. Мануйлов, А.И. Колташников - М.: Металлургия, 1982 – 246 с. 5. Король В.К. Основы технологии производства многослойных металлов / В.К. Король, М.С. Гильдельгорн – М.: Металлургия, 1970. – 237с. 6. Чепурко М.И. и др. Производство биметаллических труб и прутков / М.И. Чепурко – М.: Металлургия 1986. – 240с. 7. Чукмасов А.С., Бондарь Н.П. Сапогова А.Е. и др. Износостойкие биметаллические горячекатаные трубы из центробежно-литых заготовок / А.С. Чукмасов, Н.П. Бондарь // Производство труб - 1979. - №5. – С.17-21. 8. Тітов В.А. Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації / В.А. Тітов, Р.С. Борис // Вестник Национального технического университета Украины “КПИ”, серия “Машиностроение”, - 2006. - №49. 9. Тітов В.А. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / В.А. Тітов, Т.М. Лабур, Р.С. Борис // Технологические системы. – 2007. – №1. – С. 33-39. 10. Тітов В.А. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різномірних матеріалів витягуванням / В.А. Тітов, Р.С. Борис, М.С. Тривайло // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, серія “Машинобудування”, - 2009. - №56. – С. 154-159. 11. Тітов В.А. Дослідження процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / В.А. Тітов, Р.С. Борис // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов – 2009. - №2 (21). – С. 173-178. 12. Тітов В.А. Обґрунтування та реалізація досвідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів / Тітов В.А., Борис Р.С., Вишневський П.С., Лук'яненко О.О. // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, серія “Машинобудування” – 2010. - №59. – С. 13-18

**УДК 621. 983. 044**

**ЕЛИСЕЕВ Р.В.**, аспірант, КГУ, Кременчуг

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ В ЗАКРЫТОЙ КАМЕРЕ С ВОЗДУШНОЙ ПОЛОСТЬЮ**

Исследован механизм штамповки взрывом для закрытого устройства. Заряд закрепляют на дне взрывной камеры, расположенной в нижней части устройства и заливают слоем воды. Нагретую заготовку подают в верхнюю часть устройства перед взрывом. Заряд и заготовка до взрыва разделены воздушной полостью. Под действием взрыва вода приобретает кинетическую энергию, а при соударении передает её заготовке. Такая схема обеспечивает безопасность и высокий КПД штамповки.

**Ключевые слова:** детонация, газовый пузырь, ударная волна, кинетическая энергия, закрытая камера.

Досліджений механізм штампування вибухом для закритого пристрою. Заряд закріплюють на дні вибухової камери, розташованої в нижній частині пристрою і заливають шаром води. Нагріту заготовку подають у верхню частину пристрою перед вибухом. Заряд і заготовка до

вибуху розділені повітряною порожниною. Під дією вибуху вода придбаває кінетичну енергію, а при зіткненні передає її заготовці. Така схема забезпечує безпеку і високий ККД штампування.

**Ключові слова:** детонація, газовий пухир, ударна хвиля, кінетична енергія, закрита камера.

A stamping mechanism is investigational by an explosion for the closed device. A charge is fastened on the day of the explosive chamber located in the underbody of device and inundate the layer of water. The heated purveyance is given in overhead part of device before an explosion. A charge and purveyance to the explosion are divided by an air cavity. Under the action of explosion water acquires kinetic energy, and at hitting passes to it the purveyance. Such chart provides safety and high efficiency stamping.

**Keywords:** Detonation, gas bubble, shock wave, the kinetic energy, the closed chamber.

**Введение.** Применение энергии взрыва для штамповки впервые в СССР было предложено профессором Х.А.И. Пихтовниковым Р.В. (а.с. СССР №157 957, 1949 г.). Предложение оказалось очень плодотворным исследования по взрывной штамповке были включены в планы многих технологических центров СССР, а в Харьковском авиационном институте решением Государственного комитета по Науке и технике в 1963 г. была образована Проблемная научно-исследовательская лаборатория по использованию импульсных источников энергии в промышленности (ПНИЛ). Результатом этого явилось широкое внедрение взрывной штамповки в промышленность, на многих заводах стали работать специализированные участки и цехи взрывной штамповки. Этому способствовало наличие научно-технической базы по использованию подводного взрыва преимущественно для военных целей. Сюда в первую очередь следует отнести работы академиков Баума Ф.А, Станюковича К.П. и др.

Анализ состояния проблемы. Пихтовниковым Р.В. и его последователями Алексеевым Ю.Н, Навагиным Ю.С, Анучиным М.А. и др. также были использованы упоминаемые фундаментальные труды по физике взрыва [1], что способствовало быстрому и успешному освоению взрыва в машиностроении. К этим заимствованиям в первую очередь следует отнести расчёт силовых факторов подводного взрыва-расширяющихся продуктов детонации (газового пузыря), ударной волны и сопутствующего ей гидропотока. На Рис.1 приведена

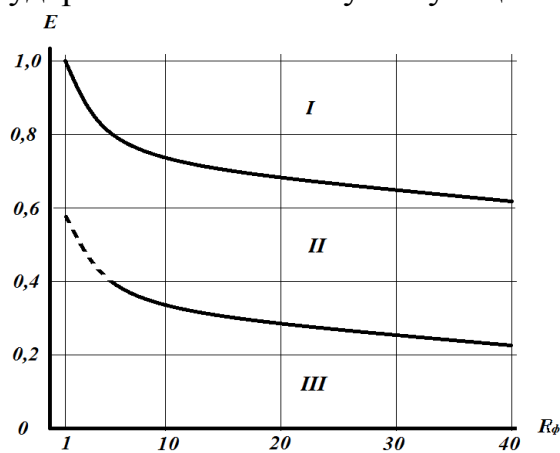


Рис.1. Распределение энергии подводного взрыва

обобщённая диаграмма распределения энергии подводного взрыва в безграничном пространстве в зависимости от положения ударной волны [1], полученная авторами в результате теоретических и экспериментальных исследований.

Диаграмма приведена в координатах  $E$ - $R_\phi$ , где  $R_\phi$ -отношение радиуса фронта ударной волны  $r_\phi$  к приведенному радиусу заряда  $r_0$ . Область III принадлежит ударной волне. Именно эти результаты были приняты упомянутыми специалистами,

ставшими во главе научных школ. При этом в расчёт, принималась только ударная волна.

**Материал и результаты исследований.** Целью статьи является обсуждение части выполненной работы по исследованию механизма ВШ. Предмет исследования- закрытое технологическое устройство для ВШ, схематически показанное на рис 2. Здесь заряд взрывчатого вещества (ВВ) 4 размещён на дне камеры взрыва 5. Заряд перед сборкой устройства заливается расчётной массой воды. Заготовка 2 находится под матрицей 1.

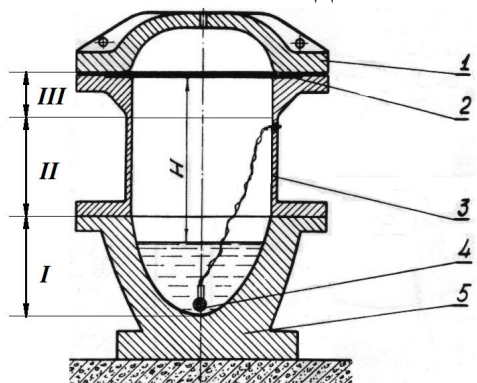


Рис.2. Устройство для ВШ в закрытой камере с воздушной полостью

Между камерой взрыва и заготовкой размещён переходник 3. На время взрыва описанный пакет размещается в замыкающее приспособление и удерживается в сомкнутом положении. При взрыве смесь продуктов детонации ВВ, воды и воздуха, находящегося в переходнике, получают определённую кинетическую энергию, которая при столкновении с заготовкой деформируют её. Функционально мы разделили закрытую камеру на зоны: *I* – зона взрыва; *II* – зона движения воды; *III* – зона нагружения заготовки давлением гидравлического удара.

**Сравнение эффективности ВШ по различным схемам.** Для экспериментального сравнения выбраны три схемы: наиболее часто применяемая схема ВШ в водном бассейне и две близкие по идее схемы штамповки в закрытых камерах, с применением в качестве передающей среды воздуха и в закрытых камерах частично заполненных водой. Все эксперименты по сравнению проведены по описанной выше методике: заготовки из алюминиевого сплава Д16АТВ диаметром 140мм, толщиной 1 мм. штамповались на провал в матричное кольцо диаметром 100 мм. Во всех опытах зарядом являлся стандартный электродетонатор марки ЭД8Б, устанавливаемый на одинаковых расстояниях от заготовки.

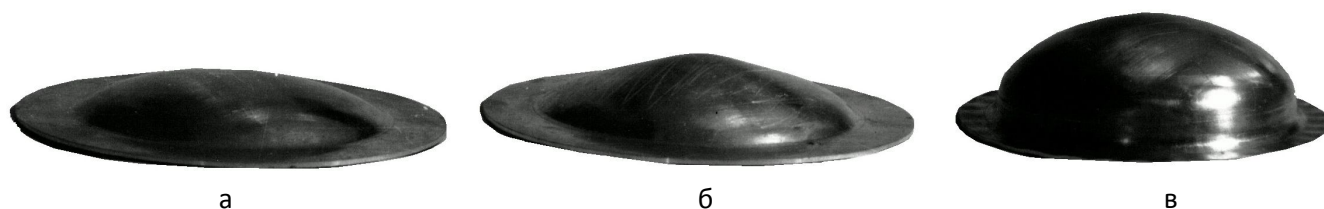


Рис.3. Сравнение КПД ВШ по различным схемам

На рис.3 приведены фотографии полученных штамповок: а) соответствует штамповке в бассейне, б) - штамповке в закрытой камере через воздух, в)- в закрытой камере частично заполненной водой.

В таблице 1 приведены исходные данные, результаты экспериментов и расчёты соответствующих КПД.

Таблица 1 -Сравнение эффективности ВШ по различным схемам

№ п/п	Технологическая схема	$D_{\text{матр}}$ , мм	Прогиб $f$ , мм	$\eta$ , %
1	Штамповка в бассейне	100	10,5	6
2	Штамповка в закрытой камере через воздух	100	14,5	15
3	Штамповка в камере частично заполненной водой	100	22	42

Определение механизма ВШ в закрытой камере. Методика проведения исследований заключалась в свободном деформировании взрывом круглых листовых заготовок через матричное кольцо диаметром  $D$  на провал. В результате каждого опыта получали выпуклую деталь диаметром  $D$  и глубиной  $f$  мм (рис.3). Замеренное значение  $f$  являлось функцией заданных программой исходных данных, сама же заготовка являлась датчиком для измерения в неявном виде работы деформирования.

Также исследовалось распределение давления по высоте камеры. На рис.2 было показано разделение закрытой камеры на зоны. Для экспериментального подтверждения границ названных зон проводился опыт, схема которого приведена на рис.4.

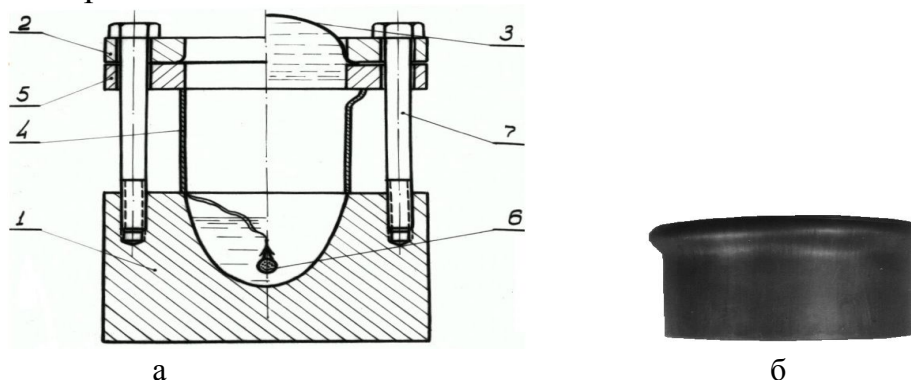


Рис.4. Эксперимент по ВШ с применением податливого переходника  
а - схема эксперимента; б -деформация переходника.

При ВШ по схеме «Гейзер» ключевым звеном в цепочке преобразований энергии по пути к заготовке является зазор между поверхностью воды и заготовкой. Ударная волна отражается от свободной поверхности воды.

Ударные волны, отраженные от стенок взрывной камеры, также направлены в сторону свободной поверхности. Газовый пузырь, занимая значительный объем камеры, может расширяться только в сторону свободной поверхности воды, вызывая разгон воды. При соответствующем выборе формы взрывной камеры в движение увлекается вся масса воды

Таким образом, из всех видов сил, действующих при подводном взрыве, здесь на заготовку действует только энергия движущейся массы воды. Соотношение объемов заряда ВВ и воздушной полости между водой и заготовкой составляет 1200. При взрыве тротила в воздухе в нормальных условиях

( $P=760$  мм.рт.ст.) объём продуктов детонации составляет приблизительно 1100 объёмов исходного заряда. Таким образом, была исключена возможность непосредственного давления на заготовку расширяющихся продуктов детонации. В результате эксперимента получили значительную глубину штамповки стальной заготовки (прогиб  $f = 24$  мм при диаметре матричного кольца  $D=100$  мм). Латунная труба при этом в основной своей части не деформировалась, т.е. давление продуктов детонации в этой части переходника практически отсутствовало - вся энергия ВВ на этом этапе перешла в энергию движущейся воды. Верхняя часть трубы, на которую действовало давление воды, заторможенной на заготовке, получила деформацию по высоте столба воды, сжатой гидравлическим ударом (рис.4б). При повторении эксперимента при тех же условиях, но без латунного переходника (т.е. заготовка приближалась к поверхности воды) получили глубину прогиба  $f = 28$  мм. Это небольшое увеличение прогиба объясняется уменьшением потерь в зазоре на распыление и аэродинамическое сопротивление воды при полёте. Разуплотнение переходника камеры в нижней его части на глубину штамповки не влияло. Проведенные эксперименты показали, что в предложенной для исследования схеме уже при небольших степенях расширения продуктов детонации энергия заряда переходит в кинетическую энергию воды, которая при соударении с заготовкой частично переходит в энергию пластической деформации. На этом основании при дальнейшем изложении, исследуемой схеме присвоим собственное имя - «Гейзер».

Таким образом, эксперимент показал, что цепочка последовательных превращений энергии при ВШ по схеме «Гейзер» включает звенья: химическая энергия заряда, энергия ударной волны и газового пузыря, кинетическая энергия воды, энергия гидравлического удара, энергия пластического деформирования заготовки. Каждое из этих превращений энергии участвует в формировании внешней нагрузки и КПД процесса ВШ. Рассмотренный механизм использования энергии взрыва порождает следующие преимущества схемы «Гейзер»:

1. Исключение действия на заготовку ударной волны значительно повышает КПД ВШ.
2. Разделение заряда ВВ и заготовки во времени и пространстве позволяет выполнять горячую штамповку с применением холодной жидкой передающей среды.
3. Возможность регулирования характера импульса нагрузки заготовки путём изменения массы передающей среды.
4. Исключается необходимость транспортировки устройства, в процессе операции ВШ, что значительно сокращает цикл изготовления.
5. Отсутствие наружного султана воды, сильного звука от взрыва, выхода ударных волн и продуктов взрыва в рабочую зону.
6. Из-за замкнутой схемы устройства снимается сейсмическое воздействие на стены здания, соседние агрегаты и т.п.

**Исследование величины зазора на КПД процесса.** Исследование параметров процесса ВШ по схеме „Гейзер” проводилось на многоцелевой

экспериментальной установке, которая при незначительных доработках может быть использована для исследования широкого спектра различных параметров. Конструктивная схема установки приведена на Рис.5. В качестве замыкающего устройства для установки использована станина ручного винтового пресса усилием 500 кН. Это позволяет регулировать рабочее пространство установки, что расширяет диапазон вариантов экспериментов. Усилие, создаваемое винтом, здесь используется только для зажима и удержания взрывной камеры с зарядом, водой, заготовкой, матрицей и регулировочными кольцами. Величина усилия зажима при необходимости может также изменяться.

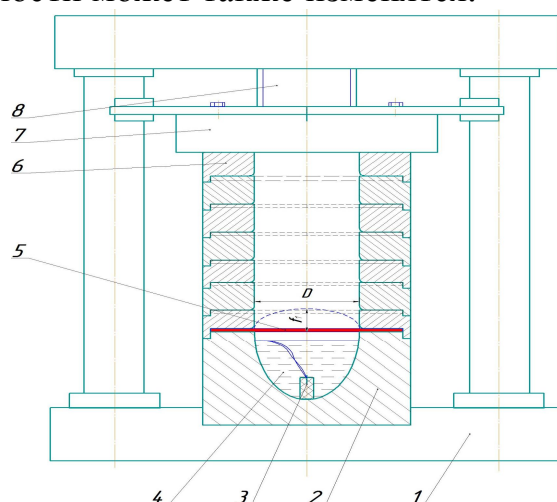


Рис. 5. Универсальная экспериментальная установка для исследования параметров ВШ по схеме «Гейзер»: 1– станина; 2–взрывная камера; 3–заряд ВВ; 4 – передающая среда; 5 –места расположения заготовок при экспериментировании; 6–набор матричных колец; 7–прижимная плита; 8 – грузовой винт.

Величину энергии, затраченной при деформировании заготовки, определяли расчётной обработкой штамповок, полученных в каждом из экспериментов, где заготовка являлась датчиком непрямого замера полученной энергии, по значению её прогиба  $f$ . Полученные результаты сведены в таблице 2:

Таблица 2 – Влияние величины зазора Н на КПД процесса

№ п/п	Н/Д	$f$ , мм	$e_i$	W, дж	$\eta$ , %
1	20	27,3	0,32	283,68	48
2	40	23,8	0,23	203,53	34
3	81	20,9	0,17	148,62	25
4	100	19,0	0,13	118,01	20
5	142	14,9	0,07	65,53	11
6	179	11,3	0,04	33,56	6
7	225	10,5	0,03	28,09	5

## **Выводы.**

1. Выполненные экспериментальные исследования показали, что закрытая схема в сочетании с исключением ударной волны, как основного фактора нагружения, введением воздушного промежутка между свободной поверхностью воды и заготовкой, сохраняя высокий КПД, обеспечивает безопасность и долговечность работы оборудования.

2. Анализ результатов экспериментов, приведенных в таблице 2, показывает, что увеличение воздушной полости до величин, превышающих диаметр взрывной камеры, сохраняет КПД процесса в пределах в несколько раз превышающих его величину в традиционных схемах.

3. Последнее обстоятельство позволяет выполнять отдельный ввод заряда ВВ и заготовки, что обеспечивает безопасность выполнения взрывом горячей штамповки.

4. На сегодня последний вывод уже реализован в опытно-промышленных условиях горячей ВШ деталей из плоских и трубчатых заготовок больших толщин [5].

**Список литературы:** 1. Баум ф.А, Орленко Л.П, Шехтер Б.И. и др. Физика взрыва, монография, под ред. К.П, Станюковича, изд. 2-е, перераб, „Наука”, М, 1975, с.590. 2. Драгобецкий В.В. Нові напрями удосконавлення властивостей металевих виробів методами вибухового оброблення. К. Машинознавство. 2002. – №6, с. 38-42. 3. Драгобецкий В.В. Практика и перспективы создания прогрессивных технологий импульсной металлообработки. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов IX международной научно-технической конференции. Том 1. Севастополь-Донецк. – 2002, - с.187-191 4. Пихтовников Р.В., Завьялова В.И. Штамповка листового металла взрывом,- М: Машиностроение, 1964. - с. 63-70. 5. Елисеев Р.В. Опыт горячей взрывной штамповки толстостенных деталей сферической формы. Сборник научных трудов Донбасской государственной машиностроительной академии: Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2009. - № 2(21). – С.192-197.

**УДК 681.527.3:623.438**

**СКВОРЧЕВСЬКИЙ О.Є.**, канд. техн. наук, доц., НТУ “ХП”

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НОРМАЛЬНО-ЗАКРИТОГО ТИПУ**

В роботі представлені розрахункові статичні характеристики вдосконалених електрогідравлічних перетворювачів нормально-закритого типу. Спираючись на уточнену нелінійну математичну модель вказаного перетворювача, проведений аналіз впливу його конструктивних та функціональних параметрів на статичні робочі процеси.

В работе представлены расчетные статические характеристики усовершенствованных электрогидравлических преобразователей нормально-закрытого типа. Опираясь на уточненную нелинейную математическую модель указанного преобразователя, проведен анализ влияния его конструктивных и функциональных параметров на статические рабочие процессы.